

中学校理科教科書に掲載されている観察・実験等への “The Two Question Strategy (2QS)”適用の適否に関する研究 －仮説設定ワークシート“The Two Question Strategy (2QS)”の考え方に基づいて－

山田 貴之*・斎藤 紗織**・五十嵐 敦志***・大谷 昌弘****・
小林 辰至*****

(平成30年11月28日受付；平成31年4月9日受理)

要 旨

本研究では、X社の中学校理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、2QSの適用の適否を検討するとともに、適用の仕方を具体的に示すことを第一の目的とした。さらに、“The Four Question Strategy (4QS)”の適用に関する山田ら(2015)の知見を検討し、2QSと4QSのいずれの適用が適しているのかについて明確にすることを第二の目的とした。この目的を達成するために、2QSの適用に関する判断基準を設定し、理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について検討した。その結果、全ての観察・実験等について、「2QSが適した実験」、「4QSが適した実験」、「仮説なし」という3つのカテゴリーに集約することができた。本研究で得られた知見は、理科の見方・考え方を働かせながら、自然の事象から原因と結果の関係である因果関係を見いだして仮説を設定させる理科授業を構想する際の基礎資料となることが期待される。

KEY WORDS

中学校 Lower Secondary School, 理科教科書 Science Textbooks, 観察・実験等 Observations and Experiments, The Two Question Strategy (2QS)

1 はじめに

近年、知識基盤社会の進展に伴い、断片化された知識や技能ではなく、人間の全体的な能力をコンピテンシー (competency) として捉えた教育改革が世界的な潮流となっている (山田・田代・田中・小林, 2015)⁽¹⁾。このことは、「何を知っているか」から、知識を活用して「何ができるのか」への教育の在り方の転換を意味している (松尾, 2015)⁽²⁾。そして、こうした改革の背景には、経済協力開発機構 (OECD) の「コンピテンシーの定義と選択」 (DeSeCo) プロジェクト、アメリカを中心とした「21世紀型スキル」の考え方が大きな影響を及ぼしている。このような背景の基で、国立教育政策研究所 (2013) は、学力の三要素 (①基礎的・基本的な知識・技能, ②それを活用する思考力・判断力・表現力等, ③学習意欲) を、課題を解決するための資質・能力という視点で再構成した「21世紀型能力」として提案した⁽³⁾。一方、我が国の中学校では、2008年告示の中学校学習指導要領解説理科編 (文部科学省, 2008) において、自然の事物・現象の中に問題を見いだし、目的意識をもって観察、実験などを主体的に行い、得られた結果を分析して解釈するといった、科学的に探究する学習の重要性が示された⁽⁴⁾。また、中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編 (文部科学省, 2018) においても、第1学年では自然の事物・現象に進んで関わり、それらの中から問題を見いだす活動、第2学年では解決する方法を立案し、その結果を分析して解釈する活動、第3学年では探究の過程を振り返る活動に重点が置かれ、3年間を通じた「思考力、判断力、表現力等」と、科学的探究能力の継続的な育成が目標とされている⁽⁵⁾。しかしながら、「平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】報告書」 (国立教育政策研究所, 2012) では、「仮説を検証するための観察・実験を計画する」ことや「観察・実験の結果を分析し解釈する」こと等に課題があることが指摘されている⁽⁶⁾。同様に、「平成27年度全国学力・学習状況調査報告書中学校理科」 (国立教育政策研究所, 2015) においても、「予想や仮説を立てて、検証する実験を計画する」ことや「分析して解釈する」ことに課題があることが指摘されており⁽⁷⁾、平成24年度から継続した課題となっている。

このような課題に対し、平成24年度「中学校理科全国学力・学習状況調査【中学校】報告書」 (国立教育政策研究所, 2012) では、「問題を見いだし観察、実験を計画する学習活動」の指導改善のポイントとして、「実験における独立変数 (変化させる要因) と従属変数 (変化させる要因に伴って変わる事象) を挙げさせる。このとき、独立変数の

*自然・生活教育学系 **佐渡市立二宮小学校 ***新発田市立外ヶ輪小学校 ****上越教育大学 (修士課程) *****岡山理科大学

変化に応じて、従属変数がどのように変化するかを予想させる。そして、その予想を基に、実験の計画を行うことが考えられる。」⁽⁸⁾と記されている。平成27年度の「全国学力・学習状況調査報告書中学校理科」（国立教育政策研究所、2015）では、「予想や仮説を設定し、検証する実験を計画できるようにするためには、変化すること（従属変数）と、その原因として考えられる要因（独立変数）に着目して自然事象を捉えさせることが指導改善のポイントである。」⁽⁹⁾と記されている。いずれの報告書においても、自然事象を、変化すること（従属変数）と、その原因として考えられる要因（独立変数）との関係（因果関係）に着目して捉えさせることの重要性が指摘されている。また、小林・永益（2006）⁽¹⁰⁾がCothron, Giese & Rezba（2000）⁽¹¹⁾の“The Four Question Strategy”を基に考案した、児童生徒に仮説を設定させるワークシート（以下4QSと表記）の効果が報告されている（金子・小林、2010⁽¹²⁾、2011⁽¹³⁾；山田・寺田・長谷川・稲田・小林、2014⁽¹⁴⁾）。図1に示した4QSは、自然事象の変化に関わる要因とその要因の関係を4つの問いで構造化したもので、変数の同定から仮説設定に至るまでの過程が児童生徒に捉えやすいという特徴がある。さらに、前出の山田ら（2015）は、小・中学校の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等について、因果関係の有無の観点から4QSの適用の可能性について検討するとともに、適用の仕方を具体的に示している⁽¹⁵⁾。山田ら（2015）の研究では、4QSは条件の制御を伴う小学校第5学年以降の実験において適用が可能性であり、第3、4学年といった中学年で扱う観察・実験等への適用には適さないとしている⁽¹⁶⁾。

そこで、斎藤（2016）⁽¹⁷⁾と五十嵐（2016）⁽¹⁸⁾は、小学校中学年児童が自ら仮説を設定して実験による問題解決の過程を辿ることができるように、4QSの考え方を基調としつつ、より簡易な形式の仮説設定ワークシート“The Two Question Strategy”（以下2QSと表記）を考案し（図2）、その効果を報告している。図1に示した4QSは、最初に従属変数と独立変数を同定させ、それぞれをStep 1とStep 2に記入させる。それに対して図2に示した2QSは、4QSのStep 1とStep 4を統合してステップ1に、Step 2とStep 3を統合してステップ2とする、2つの枠を設定した。ステップ1には「従属変数の変化の仕方」を、ステップ2には「独立変数の変化のさせ方」をそれぞれ記入させることで、小学校中学年児童にも「…を…すると、…が（は）…になる」といった作業仮説を設定しやすくなるという点が4QSと異なっている。さらに、前出の斎藤（2016）⁽¹⁹⁾と五十嵐（2016）⁽²⁰⁾は、山田ら（2015）⁽²¹⁾の研究を参考に、小学校の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等について、2QSの適用の適否について検討している。

これまで述べてきたように、小学校の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等については、4QSと2QSの両方の適用の適否を検討しているものの、中学校の理科教科書（X社）については4QSのみであり、2QSの適用が可能であるか否かを検討した研究は行われていない。

2 研究の目的

本研究の目的は2つある。1つは、X社の中学校理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、2QSの適用の適否を検討するとともに、適用の仕方を具体的に示すことである。もう1つは、4QSの適用の可能性に関する山田ら（2015）⁽²²⁾の知見に再検討を加え、2QSと4QSのいずれの適用が適しているのかを明確にすることである。

3 研究の方法

まず、本研究における仮説設定能力について規定した。次に、2QSの観察・実験等への適用の適否を検討するための判断基準を設定した。最後に、2QSの中学校全学年の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等への適用の適否について検討した。

3.1 仮説設定能力の規定

仮説について山口（2015）は、説明仮説と作業仮説があると述べ⁽²³⁾、両者を明確に区別している。前者は「○○だから～ではないか。」というように、ある事象を説明するための仮説であり、検証可能かどうかは問わないものとし、後者は「…すれば、…は、…になる。」というように、変数を用いる仮説であり、検証が可能なものとしている。つまり、変化する事象の因果関係を検証するための実験による問題解決の過程においては、検証が可能な作業仮説の設定が重要になると考えられる。

そこで本研究では、山口の定義に従い、仮説設定能力を「自然事象の中から従属変数と独立変数を同定し、これら2変数を関係付けながら実証可能な作業仮説を設定する能力」と規定した。

3.2 2QSの観察・実験等への適用の適否を検討するための判断基準の設定

2QSは変化する事象を因果関係、つまり「従属変数の変化の仕方」と「独立変数の変化のさせ方」に着目させることで、作業仮説を文章で表現させるワークシートであり、この2QSの観察・実験等への適用の適否の検討に当たっては、斎藤（2016）⁽²⁴⁾と五十嵐（2016）⁽²⁵⁾に従い、客観性を保つための判断基準を設定した（図3）。

以下に、具体的な判断の仕方と手続きを示す。まず、事象に「因果関係がありそうか・なさそうか」を判断した。事象に因果関係がなさそうであれば、具体的な自然の事物・現象を対象として、その存在や変化を捉えることによって成立する学び、すなわち観察による問題解決の過程を辿ることになる（文部科学省，2011）⁽²⁶⁾。事象に因果関係がありそうであれば、具体的な自然の事物・現象から、いくつかの要素を切り取って、それらを組み合わせて調べることによって成立する学び、すなわち実験による問題解決の過程を辿ることになる（文部科学省，2011）⁽²⁷⁾。次に、実験により問題を解決させるためには、生徒に作業仮説を設定させる必要があることから、変数を同定しないで原因と結果で考える実験なのか、それとも変数を同定して考える実験なのかを判断した。最後に、前者を「2QSが適した実験」に、後者を「4QSが適した実験」に類した。

以上のような判断の仕方と、2015年文部科学省検定済のX社の中学校理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の個々について、山田ら（2015）⁽²⁸⁾の研究を参考に検討を行い、「仮説なし」、「2QSが適した実験」、「4QSが適した実験」の3つのカテゴリーに分類した。なお、2QSの適用の適否の検討は、理科教育学研究者2名、新潟県内の公立学校に勤務する経験豊富な小中学校理科教師3名で行った。具体的には、第1学年から第3学年の観察・実験等の個々について、教科書に掲載されている順に、2QSと4QSの適用の適否を複数回協議した。そして、検討の不一致点を全て解消した後、その結果を教科書掲載順に学年ごとの表に整理した。表中の「番号」は、第1学年から第3学年までの教科書に掲載されている観察・実験等の順に番号をふり当てたものである。

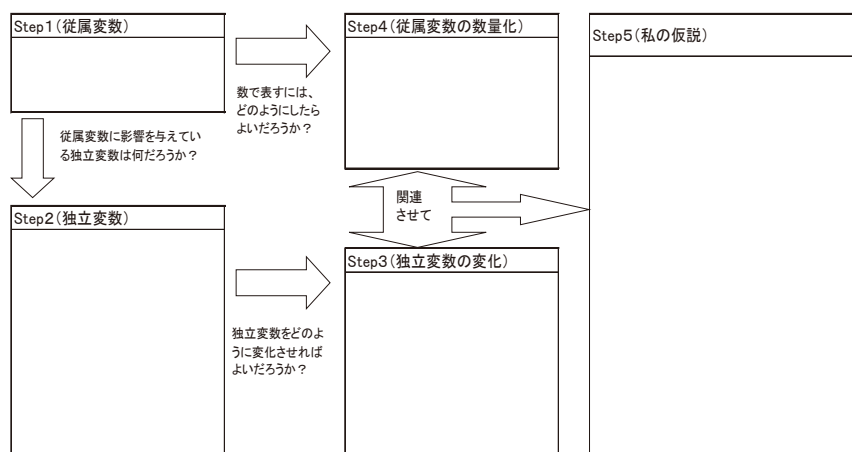


図1 4QSの例（小林・永益，2006を一部改変）

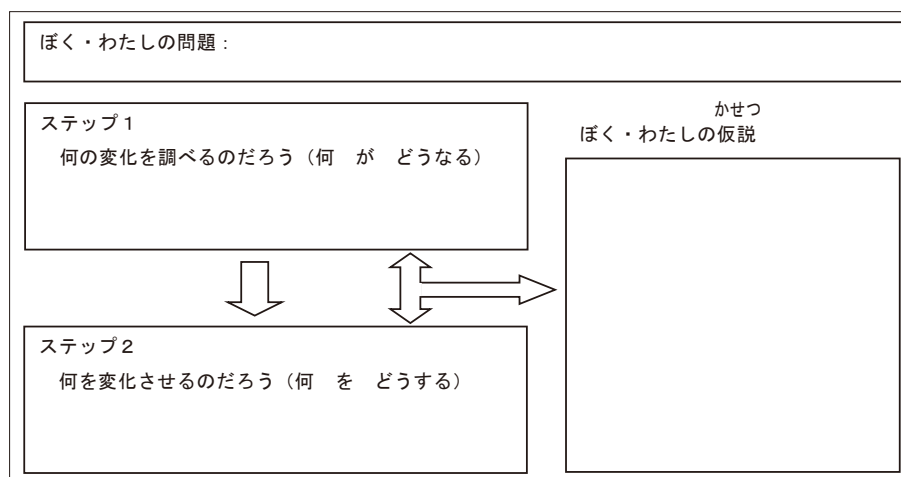


図2 2QSの例（斎藤，2016；五十嵐，2016より引用）

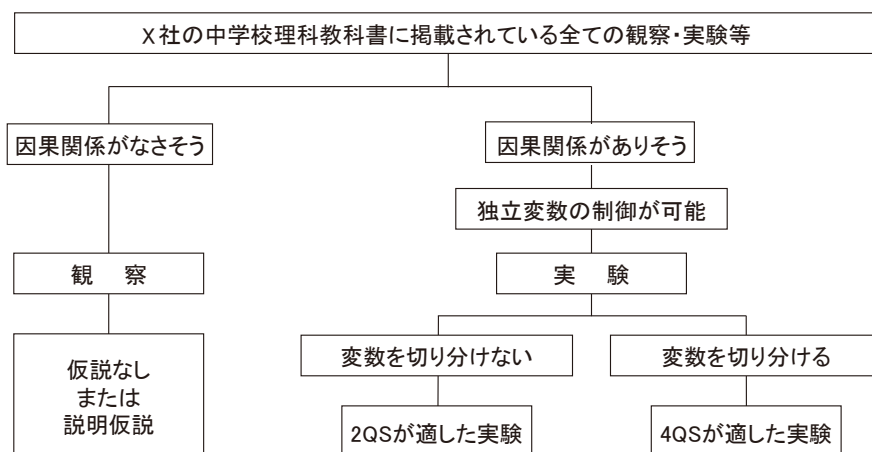


図3 4QS及び2QSの適用の適否を明確にするための判断基準（斎藤，2016；五十嵐，2016を一部改変）

4 結果と考察

本研究では、X社の中学校理科教科書を対象として、第1学年から第3学年までの観察・実験等の個々について、図3に示した判断基準を基に2QSの適用の適否について検討した。以下に、全ての観察・実験等における2QSの適用の適否について述べる。なお、分析・解釈に当たっては、学年、科学の基本的な見方や概念の柱など、複数の要因から検討が可能であると考えられるが、本研究では教科書に掲載されている観察・実験等の順に協議を積み重ねてきたため、第1学年から学年ごとに述べていくことにする。

4.1 第1学年の観察・実験等の検討

X社の第1学年理科教科書に掲載されている観察・実験等は27あり、そのうち観察が9、実験が17、実習が1あった（表1）。

観察については、9の全てにおいて事象に因果関係が認められないと判断し、「仮説なし」に分類した。例えば、「いろいろな植物の花のつくり」（番号2）や「火成岩のつくり」（番号24）は、植物の体のつくりと働きを関連付けて理解させたり、火成岩と深成岩の組織の違いを成因と関連付けて捉えさせたりする学習内容であり、諸感覚を働かせながら事象に関する情報を収集し、その存在や変化を捉えることに主眼を置いているため、仮説設定は必要ではないと判断した。

実験については、「金属と金属でない物質のちがひ」（番号9）、「二酸化炭素と酸素のちがひ」（番号11）、「半円形レンズを通りぬける光の道筋」（番号18）、「凸レンズによる像のでき方」（番号19）の4つにおいては、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果から規則性を見いださせたり、実験器具の操作技能を習得させたりすることに主眼を置いていると判断し、「仮説なし」に分類した。残りの13については、明確な因果関係が認められることから、作業仮説を設定した問題解決活動の実施が可能であると判断した。そのうち、「光合成と二酸化炭素の関係」（番号5）、「蒸散と吸水の関係」（番号6）、「力の大きさとばねののびの関係」（番号21）、「水中の物体にはたらく上向きの力」（番号22）の4つについては、事象を変数で捉えさせ、条件を制御しながら実験させることが重要であると判断し、「4QSに適した実験」に分類した。なお、これら4つの実験については、山田ら（2015）⁽²⁹⁾においても4QSの適用は可能であるとしており、本研究と一致している。

実習については、「地震のゆれの広がり」（番号25）の1つのみであり、ここでは人為的に条件を変える操作を行うのではなく、地震の記録を基に、その揺れの大きさや伝わり方の規則性に気付かせる学習内容であると判断し、「仮説なし」に分類した。

以上のことから、第1学年では27の観察・実験等のうち、「仮説なし」が14、「2QSに適した実験」が9、「4QSに適した実験」が4であると結論付けた。

表 1 X社の中学校第1学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の検討

第1学年					因果関係がありそう			仮説なし
番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	教科書に記載されている問い	2QSに適した問い	2QSで作業仮説を設定		4QSで作業仮説を設定	
					Step1	Step2		
1	生命	観察	身近な生物	—	—	—	—	○
2	生命	観察	いろいろな植物の花のつくり	花には共通するつくりがあるのだろうか。そのつくりと花のはたらきの関係は、どのようなになっているのだろうか。	—	—	—	○
3	生命	観察	葉の表皮と内部のつくり	葉の表面や内部のつくりには、どのような特徴があるのだろうか。	—	—	—	○
4	生命	実験	葉の細胞の中の光合成が行われている場所	光合成は葉の細胞の中のどこで行われ、何を材料にしているのだろうか。	葉を日光に当てると、デンプンは葉の細胞の中のどこでつくられるのだろうか。	デンプンは葉緑体でつくられる。	葉を日光に当てる。	
5	生命	実験	光合成と二酸化炭素の関係	光合成は葉の細胞の中のどこで行われ、何を材料にしているのだろうか。	—	—	—	○
6	生命	実験	蒸散と吸水の関係	植物はどのようなしくみで吸水を行っているのだろうか。また、とりこまれた水はからだのどこを通るのだろうか。	—	—	—	○
7	生命	観察	水の通り道	植物はどのようなしくみで吸水を行っているのだろうか。また、とりこまれた水はからだのどこを通るのだろうか。	—	—	—	○
8	生命	観察	シダ植物のからだのつくり	種子をつくらない植物のからだのつくりには、どのような特徴があるのだろうか。また、どのようなふえ方をするのだろうか。	—	—	—	○
9	粒子	実験	金属と金属でない物質のちがい	金属と金属でない物質では、どのような性質のちがいがあるのだろうか。	—	—	—	○
10	粒子	実験	白い粉末の区別	見ただけでは見分けにくい粉末状の物質の種類を知るには、どのようにしたらよいのだろうか。	白い粉末（白砂糖、デンプン、食塩、グラニュー糖）を加熱すると、白い粉末はどうなるのだろうか。	食塩は変わらない。それ以外の白い粉末はこげる。	白い粉末を加熱する。	
11	粒子	実験	二酸化炭素と酸素のちがい	身のまわりの気体には、どのような性質のちがいがあるのだろうか。	—	—	—	○
12	粒子	実験	水にとける物質のようす	物質が水にとけるとは、どのようなことになるのだろうか。	物質を水にとかすと、水溶液の中のものすはどうなるのだろうか。	水溶液の中に物質が残らない。	物質を水にとかす。	
13	粒子	実験	水にとけた物質をとり出す	水にとけている物質をとり出すためには、水を蒸発させる以外に、どのようにすればよいのだろうか。	水溶液をどうすると、溶質はとり出せるのだろうか。	水にとけた物質はとり出せる。	水溶液を冷やす。	
14	粒子	実験	ロウの状態変化と体積・質量の変化	物質が状態変化するとき、体積や質量はどうなるのだろうか。	液体のロウを冷やして固体に変えると、体積や質量はどうなるのだろうか。	体積は変化する。質量は変化する。	液体のロウを冷やして固体に変える。	
15	粒子	実験	エタノールを沸騰するときの温度	水と同じように、物質が状態変化するときの温度は、決まっているのだろうか。	エタノールを熱すると、沸騰したときのエタノールの温度の変化はどうなるのだろうか。	沸騰したエタノールの温度は一定になる。	エタノールを熱する。	
16	粒子	実験	混合物の蒸留	液体どうしが混ざり合った混合物を分けるには、どうすればよいのだろうか。	混合物を沸騰し続けると、気体として出てくる物質はどのようなのだろうか。	とり出す物質が、エタノールから水に移り変わる。	混合物を沸騰し続ける。	
17	エネルギー	実験	鏡で反射する光の道筋	光が反射するとき、光の進む道筋にはどのような決まりがあるのだろうか。	光を反射させて的に当てると、光の道筋はどうなるのだろうか。	記録用紙を折って透かして見ると、光の道筋がいつも重なる。	光を反射させて的に当てる。	
18	エネルギー	実験	半円形レンズを通りぬける光の道筋	光やガラスなどの透明な物体を通りぬけるとき、光はどのように進むか。	—	—	—	○
19	エネルギー	実験	凸レンズによる像のでき方	凸レンズによる像のでき方には、どのような決まりがあるのだろうか。	—	—	—	○
20	エネルギー	実験	弦の振動による音の大きさと高さ	音の大きさや高さや音源の振動には、どのような関係があるのだろうか。	音を出す部分の振動を変えると、音の大小や高低はどうなるのだろうか。	音の大小や高低は変わる。	音を出す部分の振動を変える。	
21	エネルギー	実験	力の大きさとばねののびの関係	力の大きさは、どうすれば比べられるのだろうか。	—	—	—	○
22	エネルギー	実験	水中の物体にはたらく上向きの力	物体が水にういたり、しずんだりするのは、どうしてだろうか。	—	—	—	○
23	地球	観察	火山灰にふくまれる物	火山噴出物である火山灰は、どのような物でできているのだろうか。	—	—	—	○
24	地球	観察	火成岩のつくり	マダマの冷え方と火成岩のつくりには、どのような関係があるのだろうか。	—	—	—	○
25	地球	実習	地震のゆれの広がり	地震のゆれは、どのようにして伝わるのだろうか。	—	—	—	○
26	地球	観察	堆積岩のつくり	堆積岩の特徴から、どのようなことがわかるだろうか。	—	—	—	○
27	地球	観察	身近な地層で調べる大地の歴史	地層から身近な地域の大地の歴史を知るには、どのようなことを調べてまとめればよいのだろうか。	—	—	—	○

4.2 第2学年の観察・実験等の検討

X社の第2学年理科教科書に掲載されている観察・実験等は25あり、そのうち観察が3、実験が20、実習が2あった（表2）。

観察については、3の全てにおいて事象に因果関係が認められないと判断し、「仮説なし」に分類した。例えば、「植物と動物の細胞のつくり」（番号37）や「無セキツイ動物の特徴」（番号40）は、動物の体のつくりと働きとを関連付けて理解させる学習内容であり、諸感覚を働かせながら事象に関する情報を収集し、事象の構造や変化を捉えることに主眼を置いているため、仮説設定は必要ではないと判断した。

実験については、「化学変化による温度変化」（番号36）、「刺激に対するヒトの反応」（番号39）及び「静電気の性質」（番号45）の3つにおいては、人為的に何かの条件を操作して変化を調べるわけではなく、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果から規則性を見いださせることに主眼を置いていると判断し、「仮説なし」に分類した。残りの17については、明確な因果関係が認められることから、作業仮説を設定した問題解決活動の実施が可能であると判断した。そのうち、「だ液によるデンプンの変化」（番号38）、「空気を膨張させたときの変化」（番号43）、「電圧と電流の関係」（番号48）、「電熱線の発熱量」（番号49）、「コイルと磁界による電流の発生」（番号52）の5つについては、事象を変数で捉えさせ、条件を制御しながら実験させることが重要であると判断し、「4QSに適した実験」に分類した。なお、これら5つの実験については、山田ら（2015）⁽³⁰⁾においても4QSの適用は可能であるとしており、本研究と一致している。

実習については、「化学変化のモデル」（番号31）と「翌日の天気予想」（番号44）の2つであり、ここでは原子に関する初歩的な概念や、観測器具の基本的な扱い方及び得られた気象データの記録の仕方を習得させる学習内容であると判断し、「仮説なし」に分類した。

以上のことから、第2学年では25の観察・実験等のうち、「仮説なし」が9、「2QSが適した実験」が11、「4QSが適した実験」が5であると結論付けた。

表2 X社の中学校第2学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の検討

第2学年					因果関係がありそう			仮説なし
					2QSで作業仮説を設定		4QSで 作業仮説 を設定	
					Step1	Step2		
番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	教科書に記載されている問い	2QSに適した問い	Step1	Step2		
28	粒子	実験 炭酸水素ナトリウムを加熱したときの変化	炭酸水素ナトリウムを加熱すると、どのような変化が起こるのだろうか。	炭酸水素ナトリウムを加熱すると、炭酸水素ナトリウムはどうなるのだろうか。	炭酸水素ナトリウムは別の物質に変化する。	炭酸水素ナトリウムを加熱する。		
29	粒子	実験 水に電流を流したときの変化	水に電流を流すと、どのような変化が起こるのだろうか。	水に電流を流すと、水はどうなるのだろうか。	水は分解される。	水に電流を流す。		
30	粒子	実験 鉄と硫酸の反応による変化	異なる物質を結びつけると、その性質はどうなるのだろうか。	鉄と硫酸の混合物を加熱すると、混合物はどうなるのだろうか。	混合物は別の性質に変化する。	鉄と硫酸を加熱する。		
31	粒子	実習 化学変化のモデル	化学変化を原子の記号で表すには、どのような決まりがあるのだろうか。	—	—	—	○	
32	粒子	実験 鉄を燃やしたときの変化	物質が燃えるとき、どのような変化が起こっているのだろうか。	鉄を燃やすと、鉄は別の物質になるのだろうか。	鉄は別の物質に変化する。	鉄を燃やす。		
33	粒子	実験 酸化銅から酸素をとる化学変化	金属の酸化物から酸素をとって、金属のみをとり出すには、どうすればよいのだろうか。	酸化銅をどうすると、酸化銅は銅になるのだろうか。	酸化銅は銅になる。	酸化銅から酸素を取り除く。		
34	粒子	実験 化学変化の前と後の質量の変化	化学変化が起こる前と後では、物質全体の質量はどうなるのだろうか。	2つの物質を混ぜ合わせたとの前後と後とを比べると、全体の質量はどうなるのだろうか。	全体の質量は変化しない。	2つの物質を混ぜ合わせる。		
35	粒子	実験 金属を熱したときの質量の変化	2種類の物質が化合するとき、それぞれの物質の質量には、どのような関係があるのだろうか。	金属の質量を変化させてくり返し熱すると、金属と化合する酸素の質量はどうなるのだろうか。	金属と化合する酸素の質量は変化する。	金属の質量を変化させてくり返し熱する。		
36	粒子	実験 化学変化による温度変化	化学変化と熱の出入りには、どのような関係があるのだろうか。	—	—	—	○	
37	生命	観察 植物と動物の細胞のつくり	植物と動物の細胞のつくりの、共通する点と異なる点は、どのようなものだろうか。	—	—	—	○	
38	生命	実験 だ液によるデンプンの変化	食物は体内で、どのようなしくみによって消化・吸収されていくのだろうか。	—	—	—	○	
39	生命	実験 刺激に対するヒトの反応	感覚器官で受けとられた刺激は、神経経路のどこを伝わり、どのようにして反応を引き起こすのだろうか。	—	—	—	○	
40	生命	観察 無セキツイ動物の特徴	無セキツイ動物のからだのつくりには、どのような特徴があるのだろうか。	—	—	—	○	
41	地球	観察 校内の気象観測	学校内で気象観測をすると、どのようなことがわかるだろうか。	—	—	—	○	
42	地球	実験 水蒸気が水滴に変わる条件	水蒸気が水滴に変化するのには、どのようなときだろうか。	室温を低くすると、水蒸気はどうなるのだろうか。	水蒸気水滴になる。	室温を低くする。		
43	地球	実験 空気を膨張させたときの変化	地上付近の空気が上昇し膨張するとどのような変化が生じるのだろうか。	—	—	—	○	
44	地球	実習 翌日の天気予想	翌日の天気を予想するには、どのようにすればよいだろうか。	—	—	—	○	
45	エネルギー	実験 静電気の性質	静電気にはどのような性質があるのだろうか。	—	—	—	○	
46	エネルギー	実験 直列回路と並列回路を流れる電流	直列回路と並列回路において、電流の流れ方にはどのようなちがいがあろうか。	回路のつくり方を変えると、電流の大きさはどうなるのだろうか。	・直列回路では、電流の大きさは変化する。 ・並列回路では、枝分かれする前後で、電流の大きさは等しくなる。	・直列回路をつくる。 ・並列回路をつくる。		
47	エネルギー	実験 直列回路と並列回路に加わる電圧	直列回路と並列回路において、各区分に加わる電圧にはどのようなちがいがあろうか。	回路のつくり方を変えると、電圧の大きさはどうなるのだろうか。	・直列回路では、電圧の大きさは変化する。 ・並列回路では、電圧の大きさは変化する。	・直列回路をつくる。 ・並列回路をつくる。		
48	エネルギー	実験 電圧と電流の関係	回路に加わる電圧と流れる電流には、どのような関係があるのだろうか。	—	—	—	○	
49	エネルギー	実験 電熱線の発熱量	電流による発熱量は、どのような場合に大きくなるのだろうか。	—	—	—	○	
50	エネルギー	実験 コイルを流れる電流がつくる磁界	コイルのまわりの磁界のようすは、どのようなになっているのだろうか。	—	—	—	○	
51	エネルギー	実験 磁界の中で電流を流したコイルのようす	磁界の中に入れたコイルに電流を流すと、コイルはどうなるだろうか。	磁界の中に置いた導線に電流を流すと、導線の動きはどうなるのだろうか。	導線の動きは変化する。	磁界の中に置いた導線に電流を流す。		
52	エネルギー	実験 コイルと磁界による電流の発生	コイルと磁石で電流をつくり出すには、どのようにすればよいだろうか。	—	—	—	○	

4.3 第3学年の観察・実験等の検討

X社の第3学年理科教科書に掲載されている観察・実験等は23あり、そのうち観察が6、実験が12、実習が4、調査が1あった(表3)。

観察については、6の全てにおいて事象に因果関係が認められないと判断し、「仮説なし」に分類した。例えば、「細胞分裂のようす」(番号59)、「太陽の1日の動き」(番号69)及び「星の1日の動き」(番号70)は、生物の成長や生殖を細胞のレベルで捉えさせたり、観察記録や資料に基づいて、特徴や構造を理解させたりする学習内容であり、諸感覚を働かせながら事象に関する情報を収集し、時間軸での変化や順序性、空間軸での位置関係や距離観点を捉えることに主眼を置いているため、仮説設定は必要ではないと判断した。

実験については、「イオンの移動」(番号57)と「角度をもってはたらく2力」(番号64)の2つにおいては、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果から規則性を見いださせたり、実験器具の操作技能を習得させたりすることに主眼を置いていると判断し、「仮説なし」に分類した。残りの10については、明確な因果関係が認められることから、作業仮説を設定した問題解決活動の実施が可能であると判断した。そのうち、「斜面を下る台車の運動」(番号63)及び「仕事と力学的エネルギーの関係」(番号65)の2つについては、事象を変数で捉えさせ、条件を制御しながら実験させることが重要であると判断し、「4QSに適した実験」に分類した。なお、これら2つの実験については、山田ら(2015)⁽³¹⁾においても4QSの適用は可能であるとしており、本研究と一致している。

実習については、「遺伝子の組み合わせ」(番号61)では、交配実験の結果などに基づいて、親の形質が子に伝わる時の規則性を見いださせたり、「自然環境の保全と科学技術の利用」(番号75)では、自然がもたらす様々な恵みや災害を調べ、自然の変化の特徴を理解させたりする学習内容であると判断し、「仮説なし」に分類した。残りの「地球の公転と見える星座の関係」(番号71)と「季節による昼と夜の長さの変化」(番号72)の2つについては、山田・栗原(2018)⁽³²⁾が4QSを用いた授業実践の効果を検証している。ただし、山田・栗原(2018)は、これら2つの天文現象には因果関係があり、言葉で仮説を設定することは可能であるものの、仮説を検証するために現象そのものを操

作することはできないため、まず現象をモデル化し、次に仮説に基づいてモデルによる作業仮説を立案するといった指導過程を辿る必要があるとしている⁽³³⁾。つまり、指導に当たる教師が作業仮説を設定させて調べさせたいと考えれば、実験に分類することは可能であるし、星座の年周運動や太陽の南中高度の変化などの観察を行い、その観察記録を地球の公転や地軸の傾きと関連付けて捉えさせるといった、一般的な授業展開も考えられる。いずれにしても、生徒の思考過程や科学的な探究活動を促進することを第一に考えて、本研究ではこれら2つの実習については「4QSに適した実験」に分類した。なお、この判断は山田ら（2015）⁽³⁴⁾とは異なる見解となった。

調査については、「身近な自然環境の調査」（番号74）のみであり、ここでは身近な自然環境に関する調査結果に基づいて、様々な要因が自然界のつり合いに影響を与えていることを理解させ、自然環境を保全することの重要性を認識させる学習内容であると判断し、「仮説なし」に分類した。

以上のことから、第3学年では23の観察・実験等のうち、「仮説なし」が11、「2QSが適した実験」が8、「4QSが適した実験」が4であると結論付けた。

表3 X社の中学校第3学年の理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等の検討

第3学年					因果関係がありそう			仮説なし
					2QSで作業仮説を設定		4QSで作業仮説を設定	
番号	概念の柱	観察・実験等のタイトル	教科書に記載されている問い	2QSに適した問い	Step1	Step2		
53	粒子	実験	電流が流れる水溶液	どのような物質でも、水にとかして水溶液にすると電流が流れるのだろうか。	物質を水溶液にすると、水溶液は電流を流すのだろうか。	水溶液には、電流が流れるものと流れないものがある。	物質を水溶液にする。	
54	粒子	実験	塩化銅水溶液の電気分解	電解質の水溶液に電流が流れるとき、水溶液の中ではどのような変化が起こっているのだろうか。	水溶液に電流を流すと、水溶液の中はどのようなのだろうか。	水溶液の中は変化する。	水溶液に電流を流す。	
55	粒子	実験	金属板に電流が流れるのに必要な条件	2種類の金属板を使えば、どのような水溶液中でも電流が流れ、そこから電流をとり出すことができるのだろうか。	2種類の金属板を電解質水溶液の中に入れると、電流はとり出せるのだろうか。	電流はとり出せる。	2種類の金属板を電解質水溶液の中に入れる。	
56	粒子	実験	酸性、アルカリ性の水溶液の性質	酸性の水溶液やアルカリ性の水溶液には、それぞれどのような性質があるのだろうか。	いろいろな方法で酸性とアルカリ性の水溶液の性質を調べると、どのようなことが言えるのだろうか。	酸性、アルカリ性の水溶液には、それぞれ共通する性質がある。	いろいろな方法で酸性とアルカリ性の水溶液の性質を調べる。	
57	粒子	実験	イオンの移動	酸性やアルカリ性の水溶液には、それぞれ共通のイオンが存在するのだろうか。	—	—	—	○
58	粒子	実験	酸とアルカリの水溶液を混ぜ合わせたときの変化	酸の水溶液にアルカリの水溶液を混ぜ合わせると、水溶液の性質やはたらきは、どうなるのだろうか。	酸の水溶液にアルカリの水溶液を混ぜ合わせると、水溶液の性質やはたらきは、どうなるのだろうか。	水溶液の性質やはたらきは変化する。	酸の水溶液にアルカリの水溶液を混ぜ合わせる。	
59	生命	観察	細胞分裂のようす	生物が成長するとき、細胞はどのようにに変化するのだろうか。	—	—	—	○
60	生命	観察	花粉管がのびるようす	有性生殖は、どのように行われるのだろうか。	—	—	—	○
61	生命	実習	遺伝子の組み合わせ	親の形質は、どのようにして子や孫に受けつがれるのだろうか。	—	—	—	○
62	エネルギー	実験	水平な面上での台車の運動	水平な面上で運動の向きに力のはたらかずに一直線上を運動するとき、物体はどのような運動をするのだろうか。	水平な面上で台車を押すと、台車の運動はどのようなのだろうか。	台車の速さは一定になる。	水平な面上で台車を押す。	
63	エネルギー	実験	斜面を下る台車の運動	運動の向きに一定の力がはたらき続けるとき、物体の速さはどのように変化するのだろうか。	—	—	—	○
64	エネルギー	実験	角度をもってはたらく2力	1つの物体にある角度をもって2力がはたらくとき、それと同じはたらきをする1つの力はどのように表されるのだろうか。	—	—	—	○
65	エネルギー	実験	仕事と力学的エネルギーの関係	仕事と力学的エネルギーには、どのような関係があるか。	—	—	—	○
66	エネルギー	実験	滑車を使うときの仕事	道具を利用すると、仕事の大きさはどのようなのだろうか。	滑車やてこなどの道具を使うと、仕事の大きさはどうなるのだろうか。	仕事の大きさは変化するしない。	滑車やてこなどの道具を使う。	
67	エネルギー	実験	位置エネルギーから電気エネルギーへの変換効率	さまざまな姿を変え変えるエネルギーの総量は失われていくのだろうか。	ブーリーつき発電機で、おもりを落下させて発電させると、重力がした仕事と比べて、得られる電気エネルギーの量はどのようなのだろうか。	得られる電気エネルギーの量は、重力がした仕事より少なくなる。	おもりを落下させて発電させる。	
68	地球	観察	太陽の黒点の観察	太陽の表面は、どのようにになっているのだろうか。	—	—	—	○
69	地球	観察	太陽の1日の動き	地球の自転によって、太陽や星は、天球上をどのように動いて見えるのだろうか。	—	—	—	○
70	地球	観察	星の1日の動き	地球の自転によって、太陽や星は、天球上をどのように動いて見えるのだろうか。	—	—	—	○
71	地球	実習	地球の公転と見える星座の関係	真夜中に見られる星座は、1年を通してどのように変化するのだろうか。	—	—	—	○
72	地球	実習	季節による昼と夜の長さの変化	季節の変化は、なぜ起こるのだろうか。	—	—	—	○
73	地球	観察	月の形と見える位置	月が満ち欠けをくり返すのはなぜだろうか。	—	—	—	○
74	生命	調査	身近な自然環境の調査	自然環境は生物とどのようににかかわっているのだろうか。身近な自然環境を調査してみよう。	—	—	—	○
75	生命	実習	自然環境の保全と科学技術の利用	持続可能な社会を目指して、身近ではどのような取り組みが行われているのだろうか。	—	—	—	○

5 おわりに

本研究の目的は、X社の中学校理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、2QSの適用の適否を検討するとともに、適用の仕方を具体的に示すことであった。さらに、4QSの適用の可能性に関する山田ら（2015）⁽³⁵⁾の知見に再検討を加え、2QSと4QSのいずれの適用が適しているのかについて明確にすることであった。この目的を達成するために、まず、2QSの観察・実験等への適用の適否を検討するための判断基準を設定し、2QSと4QSのいずれの適用が適しているのかについて検討した。次に、2QSの中学校全学年の理科教科書（X社）に掲載されている全ての観察・実験等への適用の適否について検討した。その結果、X社の中学校理科教科書に掲載されている全ての観察・実験等について、「2QSが適した実験」、「4QSが適した実験」、「仮説なし」という3つのカテゴリーに集約することができた。

具体的には、第1学年から第3学年までの教科書に掲載されている観察・実験等は全部で75あり、そのうち「仮説なし」が34（45.3%）、「2QSが適した実験」が28（37.4%）、「4QSが適した実験」が13（17.3%）であった。このこ

とから、全75のうち、34 (45.3%) については、事象の存在や変化を捉えることを主なねらいとしている観察であったり、教授された実験の要因や条件に従って所定の手順で実験を行い、得られた結果から関係性や規則性を見いださせたり、実験器具の操作技能を習得させたりすることに主眼が置かれている実験であることが明らかとなった。また、残りの41 (54.7%) については、因果関係を伴う具体的な自然の事物・現象から、いくつかの要素を独立変数と従属変数にそれぞれ同定した後、それらを組み合わせて検証する実験であることが明らかとなった。これら41 (54.7%) の実験に関しては、生徒に「…を…すると、…が(は) …になる」といった変数を用いて検証可能な作業仮説を立てさせることができる。そして、変数を同定することまで求めないで、操作としての原因とその結果との関係で取り組ませる実験であれば2QSを、変数の同定まで求める実験であれば4QSをそれぞれ適用することが適切であると考えられる。また、2QSについては、従属変数と独立変数の関係が単純な事象 (例えば、表1の番号20「弦の振動による音の大きさと高さ」のように、「音の大小や高低」という従属変数と、「音を出す部分の振動」という独立変数) を扱う場面において効果が期待できる。その際、生徒が自ら作業仮説を設定するためには、実験に取り組む際の問いの一文について、従属変数とその変化 (…は…なるのだろうか)、独立変数とその変化のさせ方 (…を…すると) に着目させることが必要であると考えられる。

中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編 (文部科学省, 2018) では、科学的探究に必要な資質・能力を3年間を通じて計画的に育成するために、各学年で主に重視する探究の学習過程 (第1学年: 問題を見いだす, 第2学年: 解決方法を立案する, 第3学年: 探究の過程を振り返る) が示されている⁽³⁶⁾。本研究で得られた知見は、上述した中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編 (文部科学省, 2018)⁽³⁷⁾に準拠した新しい中学校理科教科書の使用が2021年から開始されることを踏まえ、理科の見方・考え方を働かせながら、自然の事象から原因と結果の関係である因果関係を見いだして仮説を設定させる理科授業を構想する際の基礎資料となることが期待される。今後、X社を含む複数の新しい小・中学校理科教科書においても、本研究と同様の分析を行う予定である。

引用文献

- (1) 山田貴之・田代直幸・田中保樹・小林辰至 (2015) 「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等における“The Four Question Strategy (4QS)”の適用の可能性に関する研究—自然事象に関わる因果関係の観点から—」『理科教育学研究』56(1), pp.105-122.
- (2) 松尾知明 (2015) 「21世紀型スキルとは何か—コンピテンシーに基づく教育改革の国際比較—」明石書店.
- (3) 国立教育政策研究所 (2013) 「社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原則」『平成24年度プロジェクト研究調査研究報告書 教育課程の編成に関する基礎的研究報告書5』, pp.13-30.
- (4) 文部科学省 (2008) 「中学校学習指導要領解説理科編」大日本図書, p.17.
- (5) 文部科学省 (2018) 「中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編」学校図書, pp.23-24.
- (6) 国立教育政策研究所 (2012) 「平成24年度全国学力・学習状況調査結果のポイント」Retrieved from http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/02point/24chousakekka_point.pdf 【最終アクセス: 2016年11月2日】
- (7) 国立教育政策研究所 (2015) 「平成27年度全国学力・学習状況調査結果のポイント」Retrieved from <http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/hilights.pdf> 【最終アクセス: 2016年11月2日】
- (8) 前掲 (6)
- (9) 前掲 (7)
- (10) 小林辰至・永益泰彦 (2006) 「社会的ニーズとしての科学的素養のある小学校教員養成のための課題と展望—小学校教員志望学生の子どもの頃の理科学習に関する実態に基づく仮説設定のための指導方法の開発と評価—」『科学教育研究』30(3), pp.185-193.
- (11) Cothron, J. H., Giese, R. N., & Rezba, R. J. (2000). Science Experiments and Projects for Students, Kendall/ Hunt Publishing Company, pp.21-35.
- (12) 金子健治・小林辰至 (2010) 「“The Four Question Strategy”(4QS) を用いた仮説設定の指導が素朴概念の転換に与える効果—質量の異なる台車の斜面上の運動の実験を例として—」『理科教育学研究』50(3), pp.67-76.
- (13) 金子健治・小林辰至 (2011) 「The Four Question Strategyに基づいた仮説設定の指導がグラフ作成能力の習得に与える効果に関する研究—中学校物理領域『力の大きさとばねの伸び』を例として—」『理科教育学研究』51(3), pp.75-83.
- (14) 山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至 (2014) 「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果—第6学年『ものの燃え方と空気』を事例として—」『理科教育学研究』55(2), pp.219-229.
- (15) 前掲 (1)
- (16) 前掲 (1)

- (17) 斎藤紗織 (2016)「因果関係の見方・考え方を働かせて問題解決する理科指導法の実践的研究－小学校第3学年理科における仮説設定の指導法とその効果」『上越教育大学大学院修士論文』.
- (18) 五十嵐敦志 (2016)「小学校中学年理科における仮説設定の能力を育成する指導法とその効果に関する実践的研究－The Two Question Strategy(2QS)を用いた実践を通して－」『上越教育大学大学院修士論文』.
- (19) 前掲 (17)
- (20) 前掲 (18)
- (21) 前掲 (1)
- (22) 前掲 (1)
- (23) 山口真人 (2013)「小学校理科における科学的探究能力育成に関する指導法の研究－探究の発見的・創造的文脈における直感的推論の観点から－」『上越教育大学大学院修士論文』.
- (24) 前掲 (17)
- (25) 前掲 (18)
- (26) 文部科学省 (2011)「小学校理科の観察，実験の手引き」，pp.14-15.
- (27) 前掲 (26)
- (28) 前掲 (1)
- (29) 前掲 (1)
- (30) 前掲 (1)
- (31) 前掲 (1)
- (32) 山田貴之・栗原純一 (2018)「作図を導入した仮説検証型授業が地球の位置と四季の関係を科学的に説明する能力の育成に与える効果－中学校第3学年「地球と宇宙」を事例として－」『臨床教科教育学会誌』17(2)，pp. 111-120.
- (33) 前掲 (32)
- (34) 前掲 (1)
- (35) 前掲 (1)
- (36) 前掲 (5)
- (37) 前掲 (5)

Research on the Suitability of “The Two Question Strategy (2QS)” to the Observations and Experiments in Science Textbooks of Lower Secondary School

– Based on Hypothesis Setting Worksheet “The Two Question Strategy (2QS)” –

Takayuki YAMADA* · Saori SAITO** · Atsushi IKARASHI*** · Masahiro OHTANI**** ·
Tatsushi KOBAYASHI*****

ABSTRACT

The primarily aim of this research was to examine the suitability of the 2QS for all observations and experiments in science textbooks of lower secondary school (published by “X” Publishing Company) and to show concretely how to apply it. The secondary aim of this research was to examine the knowledge of Yamada et al. (2015) and clarify whether the application of the 2QS or the 4QS is suitable.

In order to achieve these objectives, we set criteria for suitability of the 2QS and examined all observations and experiments in science textbooks of lower secondary school.

As a result, all observations and experiments in science textbooks of lower secondary school were integrated into three categories “the 2QS suitable experiment”, “the 4QS suitable experiment” and “no hypothesis”. The knowledge obtained in this study is expected to contribute to designing science classes to formulate hypotheses by finding the causal relation from natural phenomenon while working the viewpoint and thinking of science.

* Natural and Living Science ** Sado Municipal Nikuu Elementary School *** Shibata Municipal Togawa Elementary School
**** Joetsu University of Education (Master's Program) ***** Okayama University of Science